



Etude thermomécanique de la fente de mesure de dispersion en énergie de la ligne diagnostics d'IPHI

F. Launay

► To cite this version:

F. Launay. Etude thermomécanique de la fente de mesure de dispersion en énergie de la ligne diagnostics d'IPHI. 2006, pp.14. in2p3-00111951

HAL Id: in2p3-00111951

<https://hal.in2p3.fr/in2p3-00111951>

Submitted on 7 Nov 2006

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

IPNO 06-04

**Etude thermomécanique
de la fente de mesure de dispersion en énergie
de la ligne diagnostics d'IPHI.**

François Launay

ETUDE THERMOMECHANIQUE DE LA FENTE DE MESURE DE DISPERSION EN ENERGIE DE LA LIGNE DIAGNOSTICS D'IPHI.

François Launay *

Octobre 2006

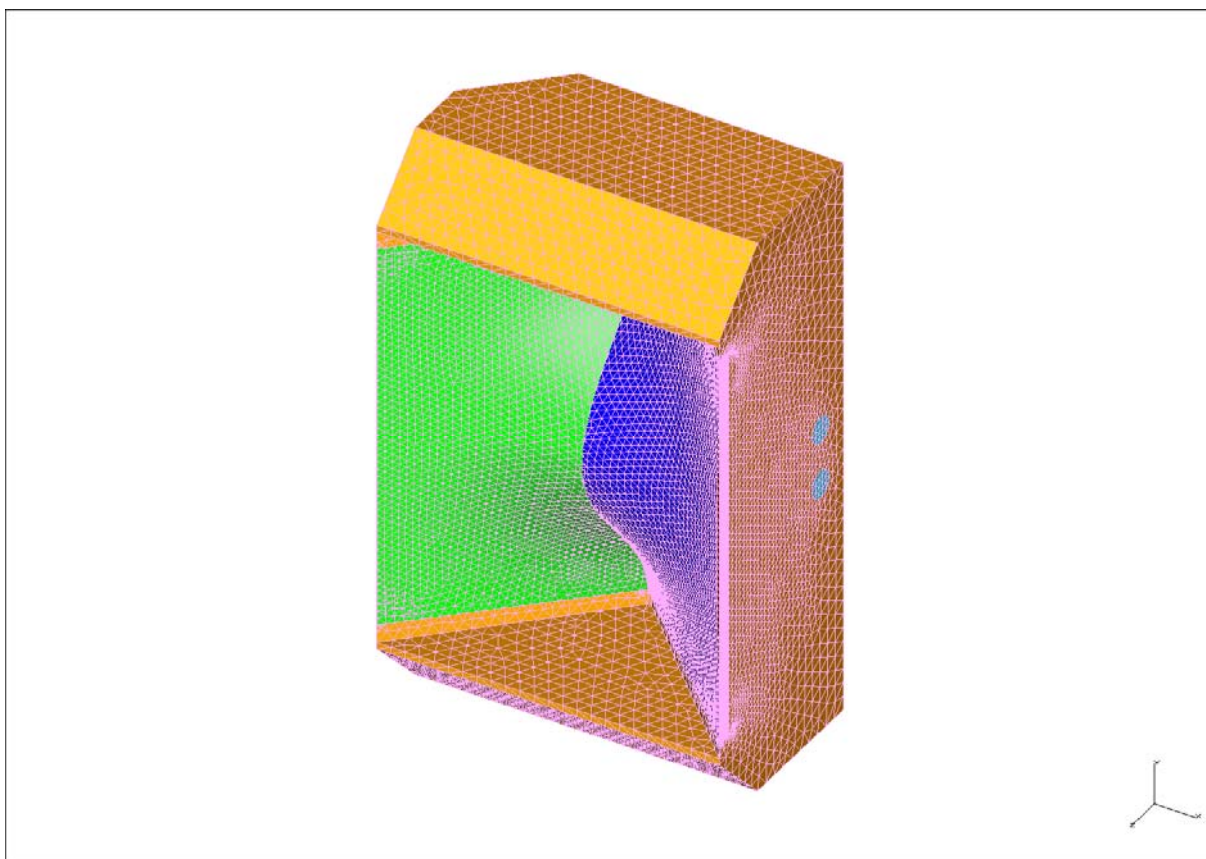


Figure 1. Modèle éléments finis du bloc fente.

* CNRS/IN2P3/IPNO/DA univ Paris-Sud 91406 Orsay Cedex. (launayf@ipno.in2p3.fr)

Sommaire.

1	Introduction.	4
2	Etude thermomécanique.	4
2.1	Généralités.....	4
2.2	Etudes préliminaires.....	4
2.3	Calculs thermique.....	6
2.3.1	Régime établi.....	6
2.3.2	Régime transitoire.	8
2.4	Calcul mécanique.	11
2.5	Conclusions.....	13
3	Références.....	14
4	Annexe.	14

1 Introduction.

La méthode d'analyse de la dispersion en énergie du faisceau d'IPHI, sur la ligne diagnostics, nécessite l'utilisation de 2 fentes insérées dans le faisceau. Les positions de la fente objet et de la fente image ainsi que les ouvertures sont indiquées dans le document [1].

Le but de ce rapport est de définir la fente objet. Cette fente, une fois insérée dans le faisceau doit pouvoir supporter les conditions de fonctionnement nominales à savoir :

- Faisceau de protons de 3MeV 100mA
- Fonctionnement en mode pulsé 1ms par seconde.

Le bloc portant la fente est donc soumis à un flux de puissance de 300W moyen et une puissance crête de 300kW pendant 1ms.

Les calculs présentés ici ont été réalisés avec le logiciel Ideas [2]

2 Etude thermomécanique.

2.1 Généralités.

Pour cette étude nous considérons le faisceau de protons comme un flux surfacique, réparti normalement à la surface du bloc, suivant une fonction bi-gaussienne {Annexe 1}.

Les paramètres de cette fonction de densité bi-gaussienne {Annexe 2} ont été fixés à : $\sigma_x = 8.78\text{mm}$ et $\sigma_y = 10.33\text{mm}$.

Les calculs de thermique sont effectués d'une part en régime établi pour lequel une puissance de 300W est appliquée, et d'autre part en régime transitoire avec une puissance de 300kW pendant 1ms.

Les caractéristiques thermiques et mécaniques des matériaux utilisés tel le Cuivre, le Molybdène, le TZM, le Nickel 201 et le CuAl15 variant avec la température sont prises en compte dans les calculs. Les données proviennent principalement des travaux de R&D sur la fusion [4].

2.2 Etudes préliminaires.

Des études préliminaires ont permis de définir la géométrie d'une pièce muni d'une fente de 0.5mm x 50mm et d'un canal de refroidissement. Les plans de part et d'autre de la fente, formant la surface d'impact, sont inclinés de 45° par rapport à l'axe du faisceau (Figure 2). Cet angle d'incidence, en augmentant la surface d'impact, abaisse significativement la température maximale atteinte à la fin du régime transitoire (Figure 3).

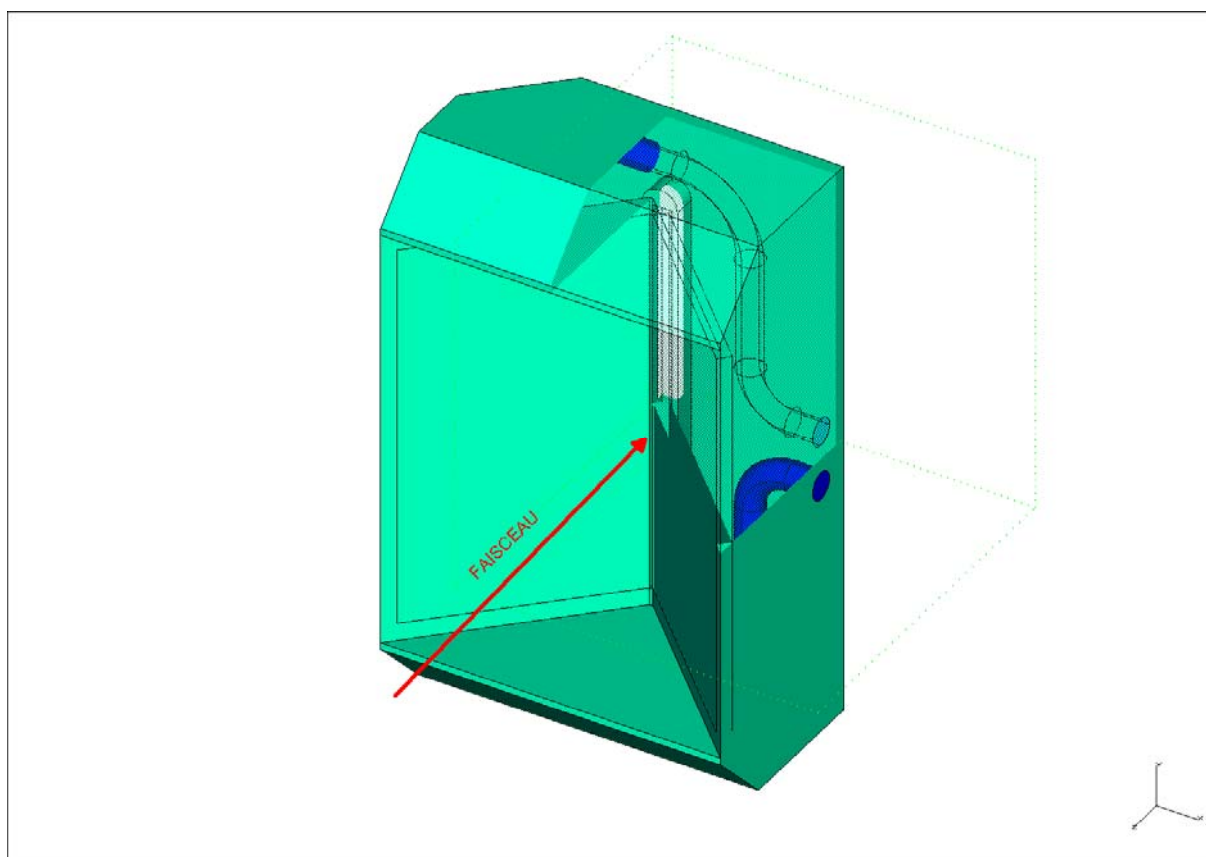


Figure 2 Bloc fente.

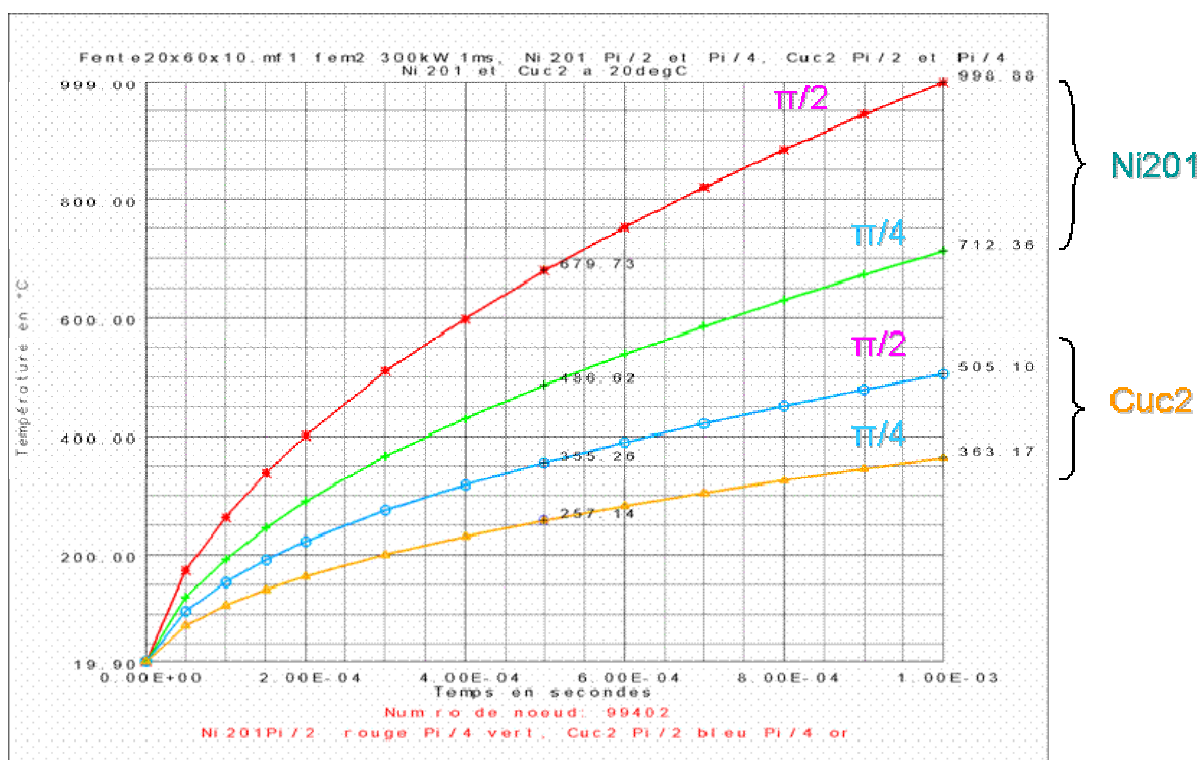


Figure 3 Températures maximales pendant le 1^{er} pulse en incidence normale et $\pi/4$.

2.3 Calculs thermique.

Les calculs suivants sont faits dans le but de comparer le comportement de quatre matériaux soumis aux mêmes conditions : Cuc2, Molybdène, TZM et CuAl15.

On effectue un calcul en régime établi qui représente l'état du bloc ayant atteint l'équilibre thermique sous une puissance moyenne de 300W. Ces cartes de températures servent de conditions initiales pour le calcul en régime transitoire. Un flux de 300kW pendant 1ms est appliqué au modèle pour le régime transitoire. Le modèle éléments finis comporte 244283 éléments et 138475 nœuds pour la thermique (Figure 4).

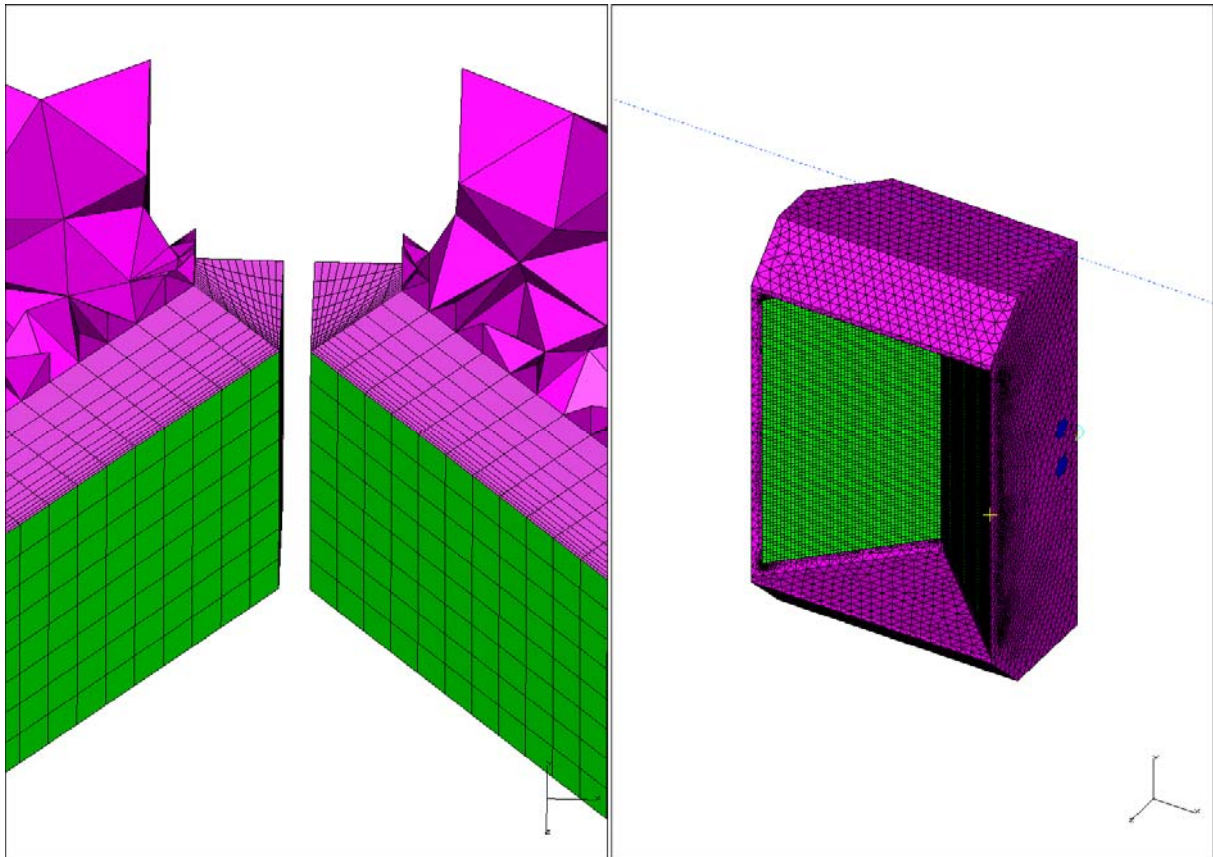


Figure 4. Maillage du bloc et zoom sur un détail.

2.3.1 Régime établi.

Les conditions aux limites sont : flux surfacique bi-gaussien de 300W, coefficient de convection $4000\text{W.m}^{-2}.\text{K}^{-1}$, température initiale 20°C , température de l'eau 20°C .

Les résultats de températures varient pour le Cuc2 de $48,4^{\circ}\text{C}$ à $62,13^{\circ}\text{C}$ (Figure 5), le Mo de $44,3^{\circ}\text{C}$ à $80,76^{\circ}\text{C}$ (Figure 6), le TZM de $43,95^{\circ}\text{C}$ à $82,70^{\circ}\text{C}$ (Figure 7). La dissymétrie des températures par rapport à la fente est due au canal de refroidissement.

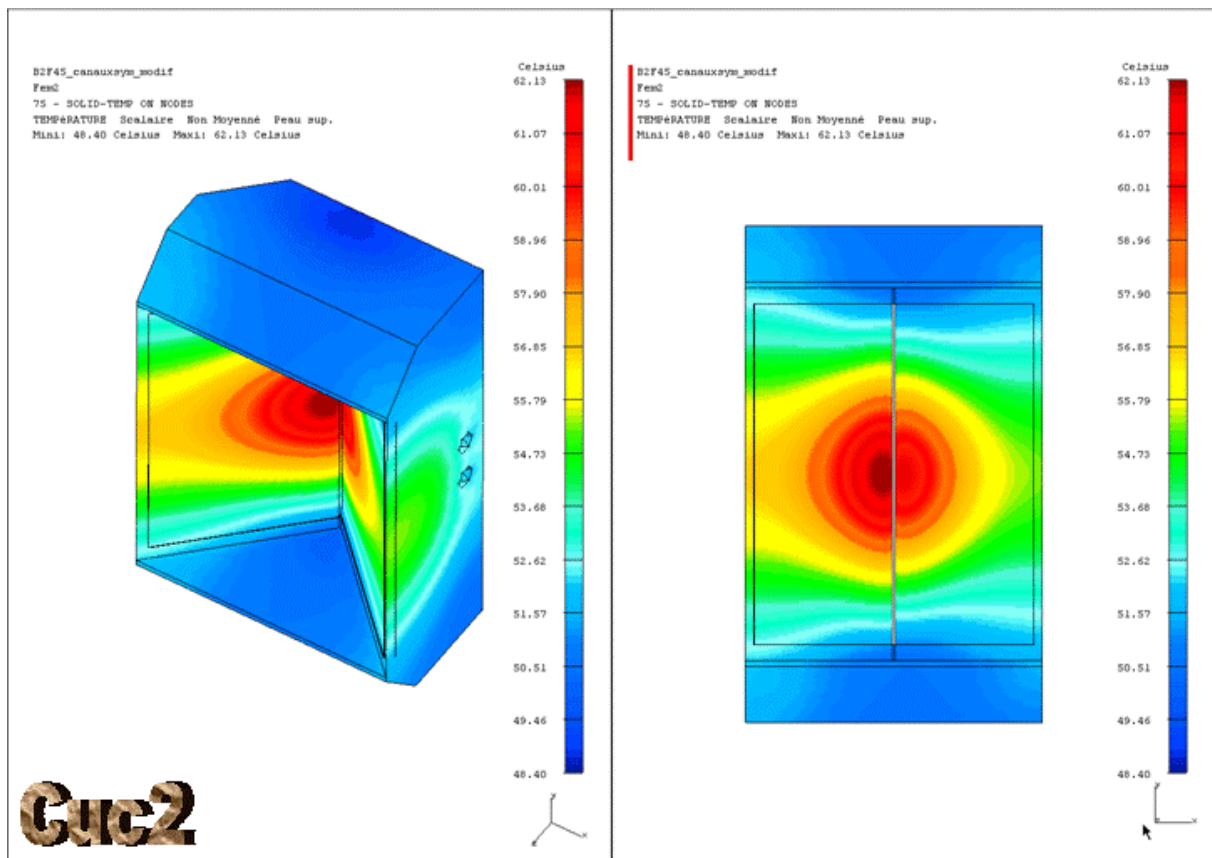


Figure 5. Cuc2, Températures en régime établi.

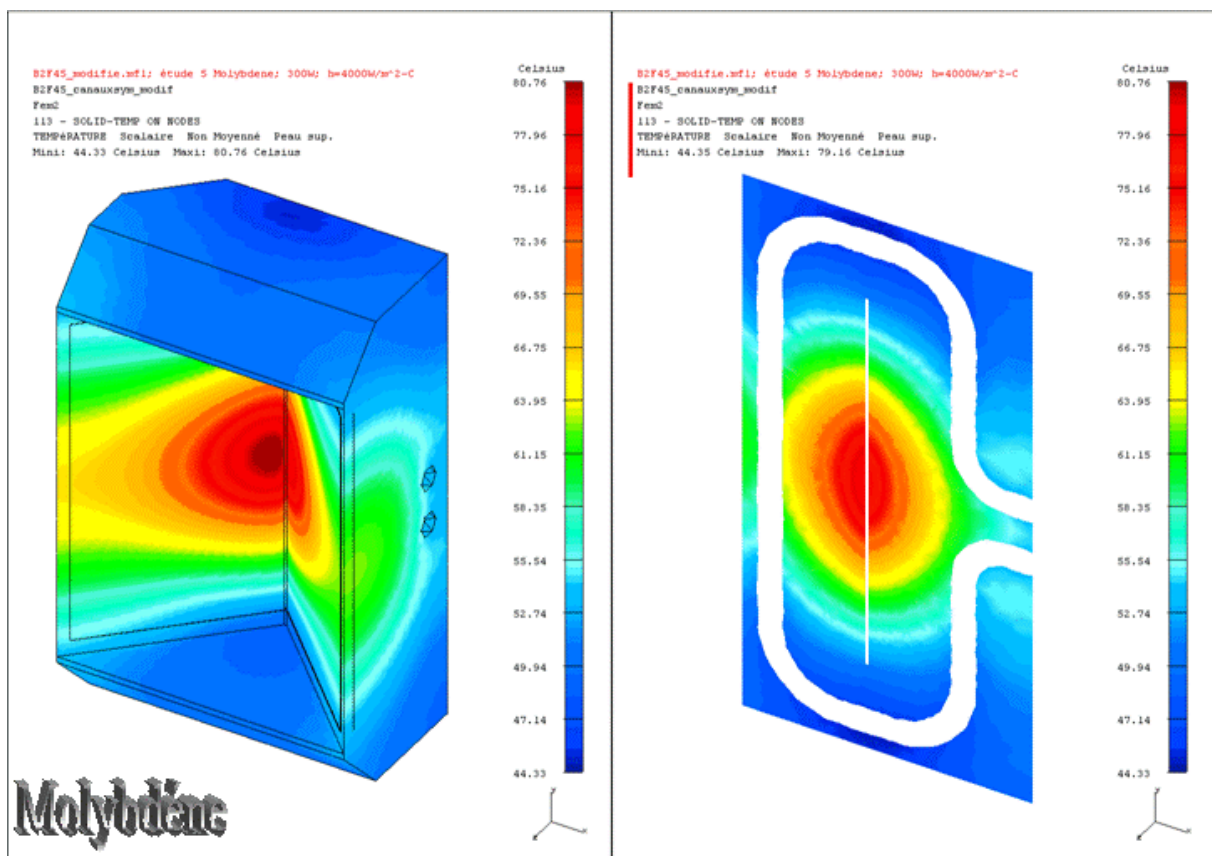


Figure 6. Mo, Températures en régime établi.

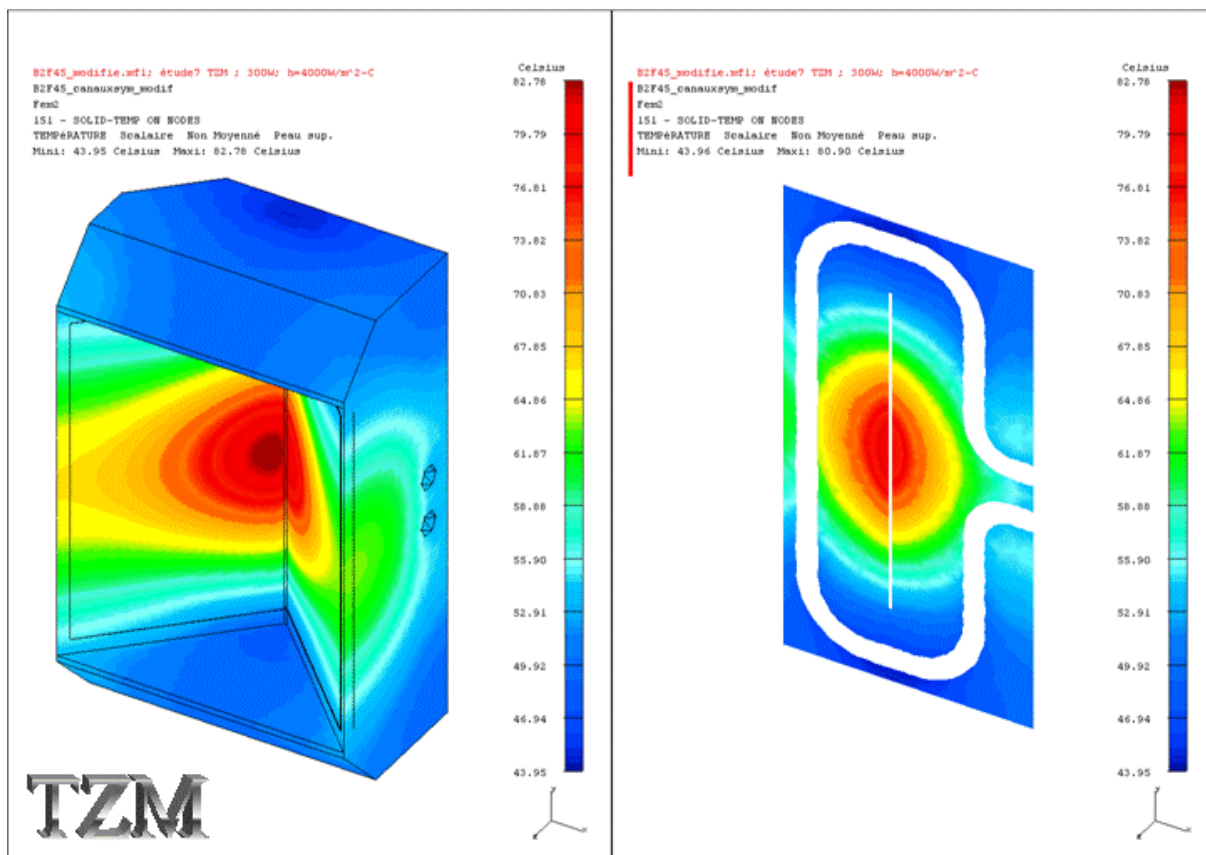


Figure 7. TZM, Températures en régime établi.

2.3.2 Régime transitoire.

Le calcul en régime transitoire est exécuté en appliquant les conditions aux limites suivantes :

- Un flux surfacique bi-gaussien de 300kW de 0s à 1ms (les pas d'intégration sont $< 20\mu s$).
- Les températures à $t=0s$ sont celles calculées en régime établis.

Les températures maximales à $t = 1ms$ varient pour le Cuc2 de 48,39°C à 404,21°C (Figure 8), le Mo de 44,33°C à 746,59°C (Figure 9), et le TZM de 43,95°C à 761,79°C (Figure10).

On remarque un gradient de températures extrêmement élevé dans une faible épaisseur. Ces valeurs sont conformes aux résultats obtenus par un calcul analytique sur un solide semi-infini (Figure11).

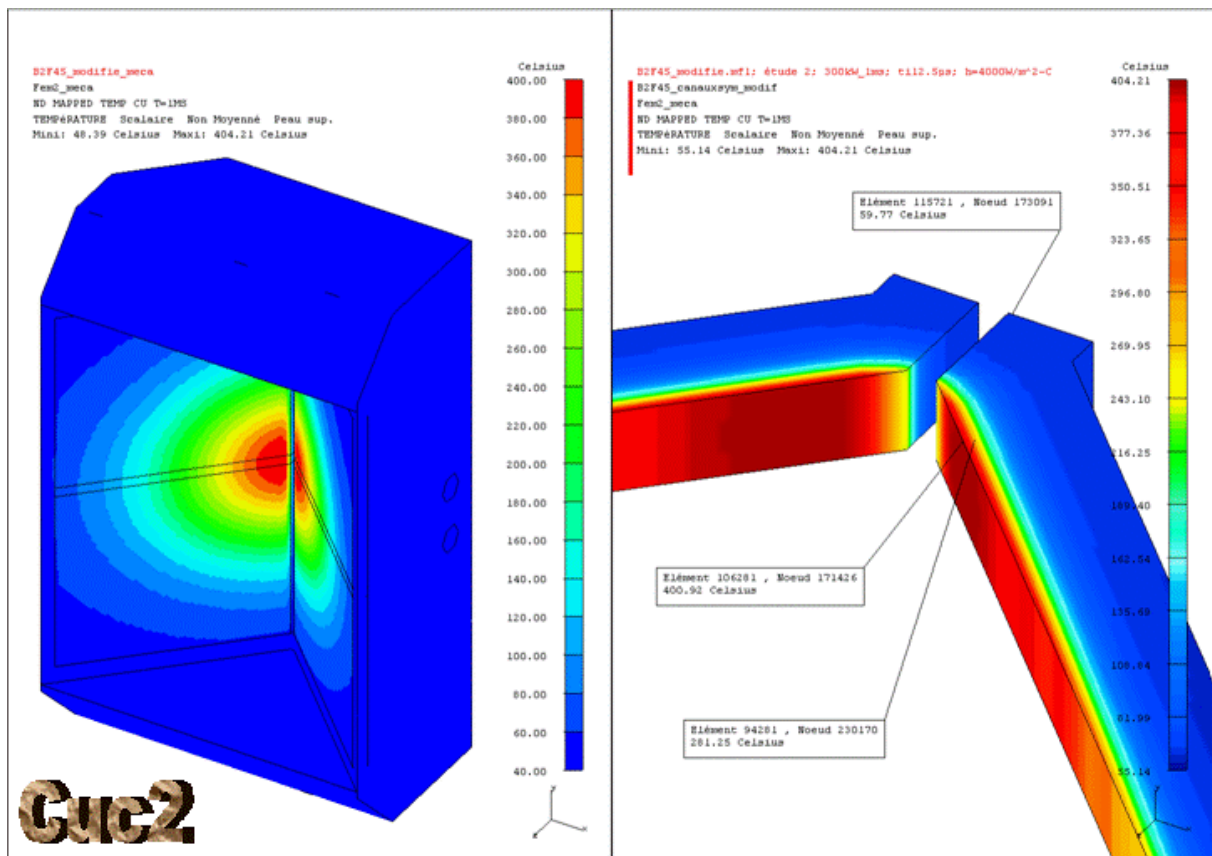


Figure 8. Cuc2, Températures à t=1ms.

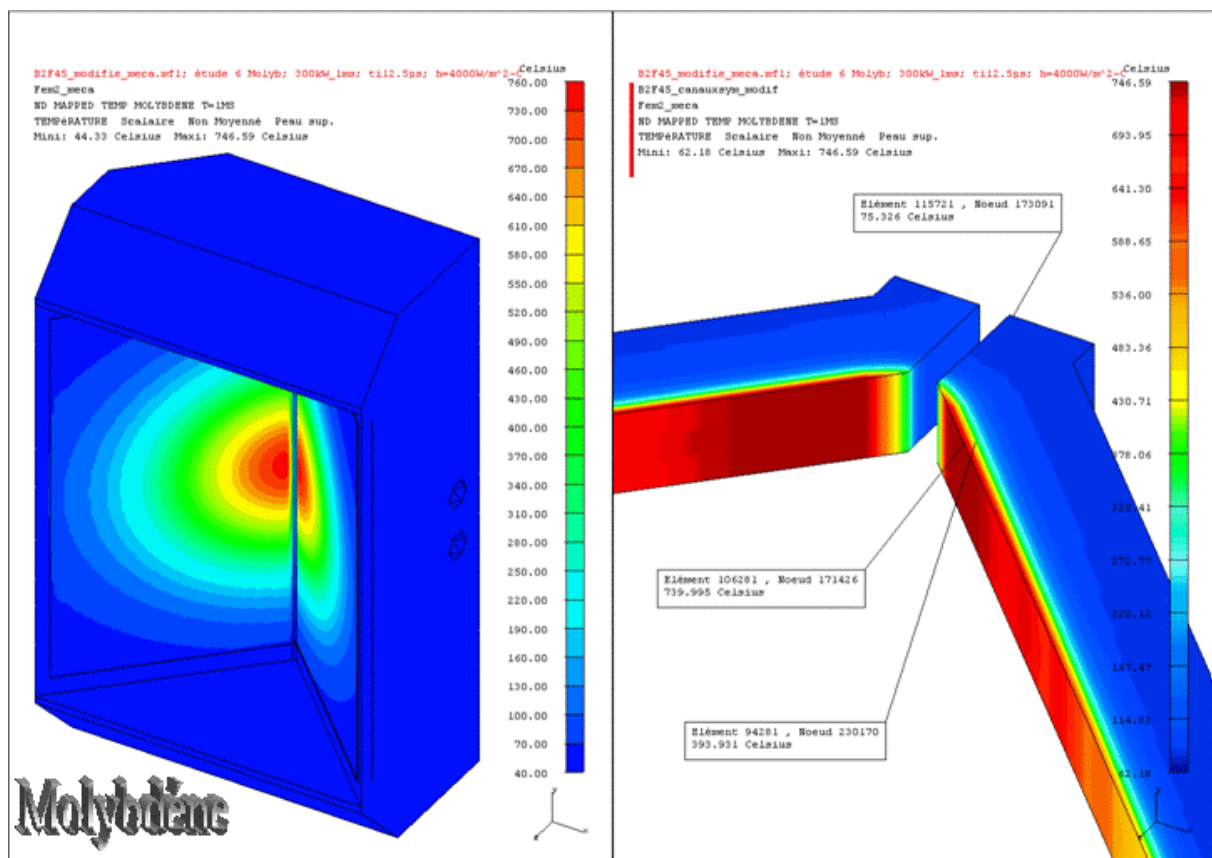


Figure 9. Mo, Températures à t=1ms.

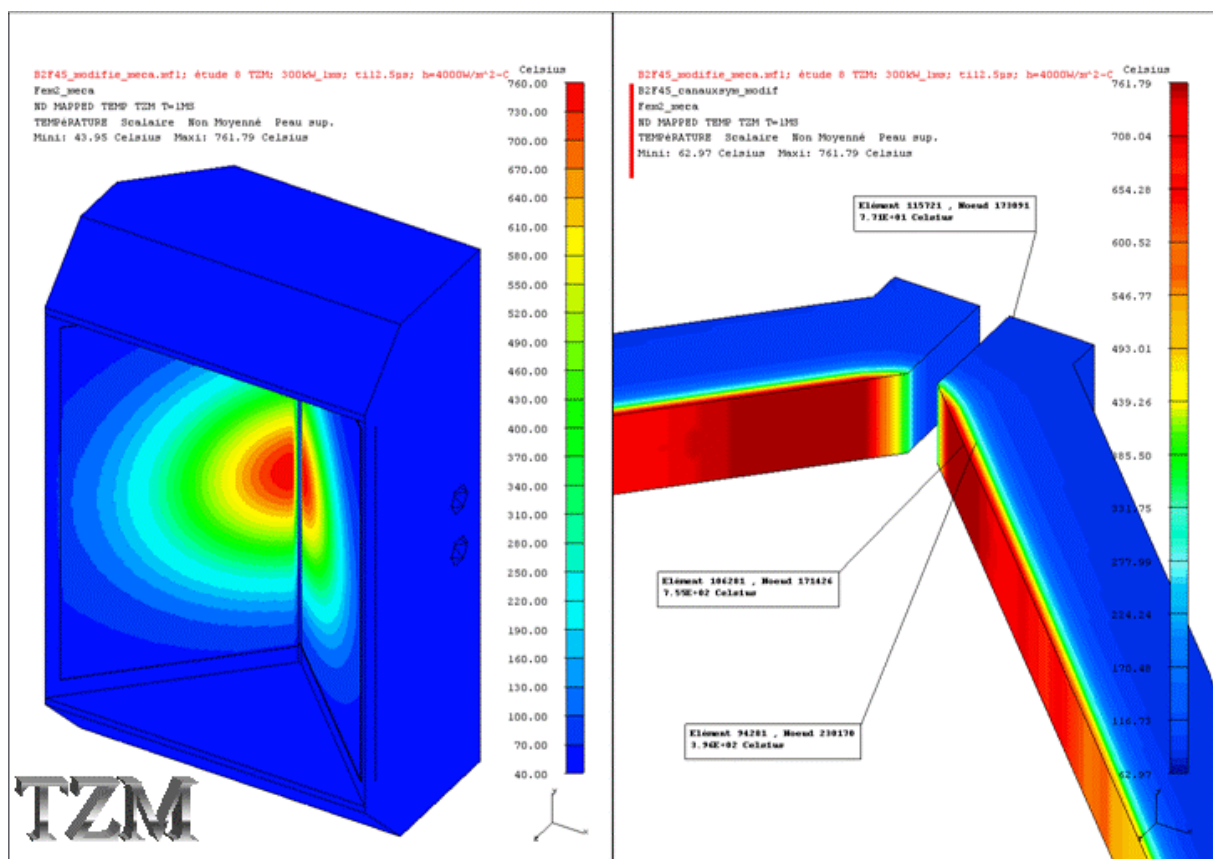


Figure10.TZM, températures à $t=1\text{ms}$.

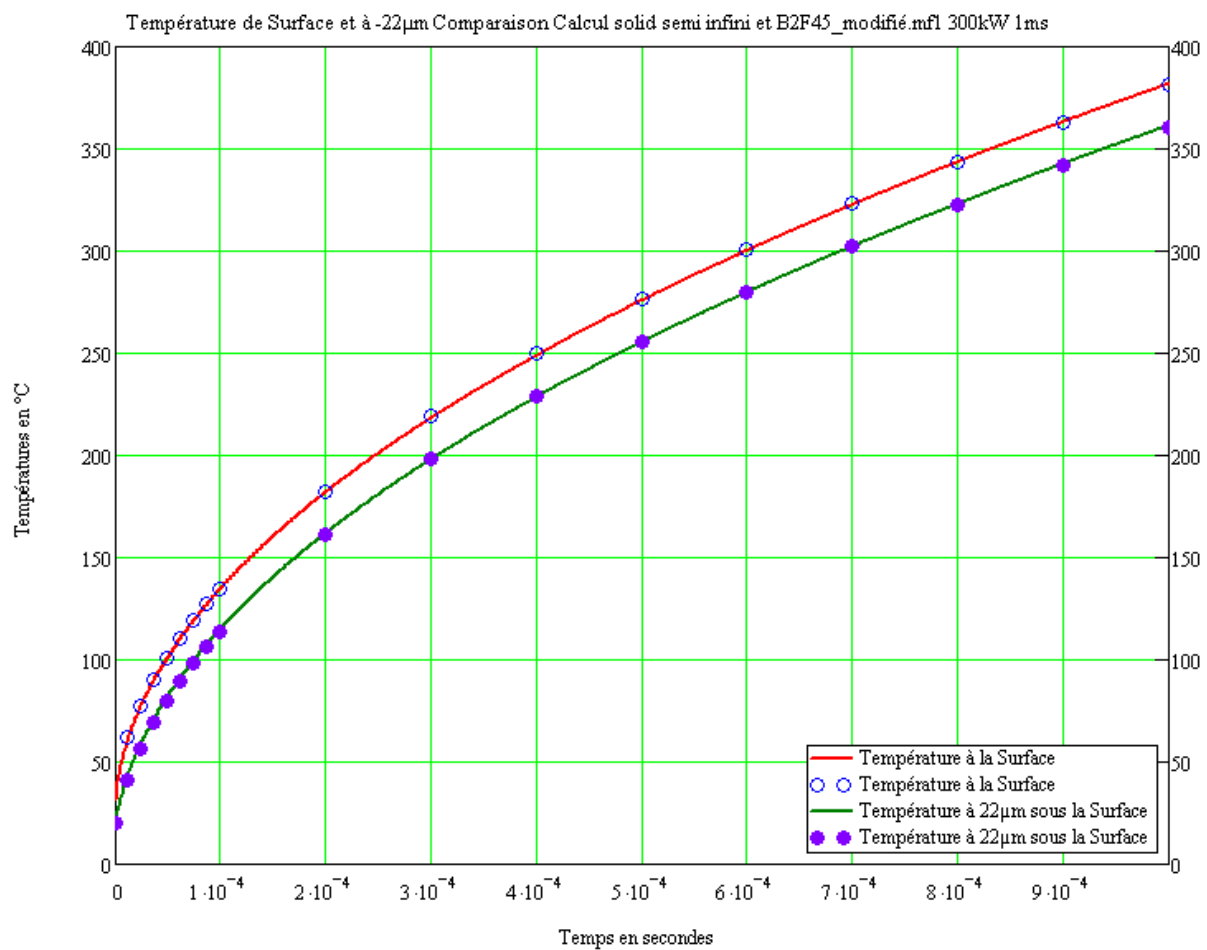


Figure11.Comparaison entre calcul analytique (traits plein) et éléments fini (points).

2.4 Calcul mécanique.

Les calculs de mécanique sont réalisés avec un solveur linéaire, en prenant les températures aux nœuds au temps $t = 1\text{ms}$ comme chargement thermique. Les déplacements et les contraintes de Von Mises sont extraits des résultats.

Les déplacements maximum sont pour le Cuc2 : $33\mu\text{m}$ (Figure 12), le Mo : $13\mu\text{m}$ (Figure 13), et le TZM : $13\mu\text{m}$ (Figure 14).

Les forts gradients de température induisent des concentrations de contraintes très élevées, dépassant les limites de contraintes élastiques ($\sigma_{Y2\%}$) du matériau dans ces zones de faibles épaisseurs.

Le Tableau 1 résume les résultats obtenus pour les trois matériaux.

Des calculs avec le CuAl15 donnent des résultats proches de ceux du cuivre en termes de températures avec un meilleur comportement du point de vue des contraintes. Néanmoins $\sigma_{Y2\%}$ est largement dépassé du fait des forts gradients de températures.

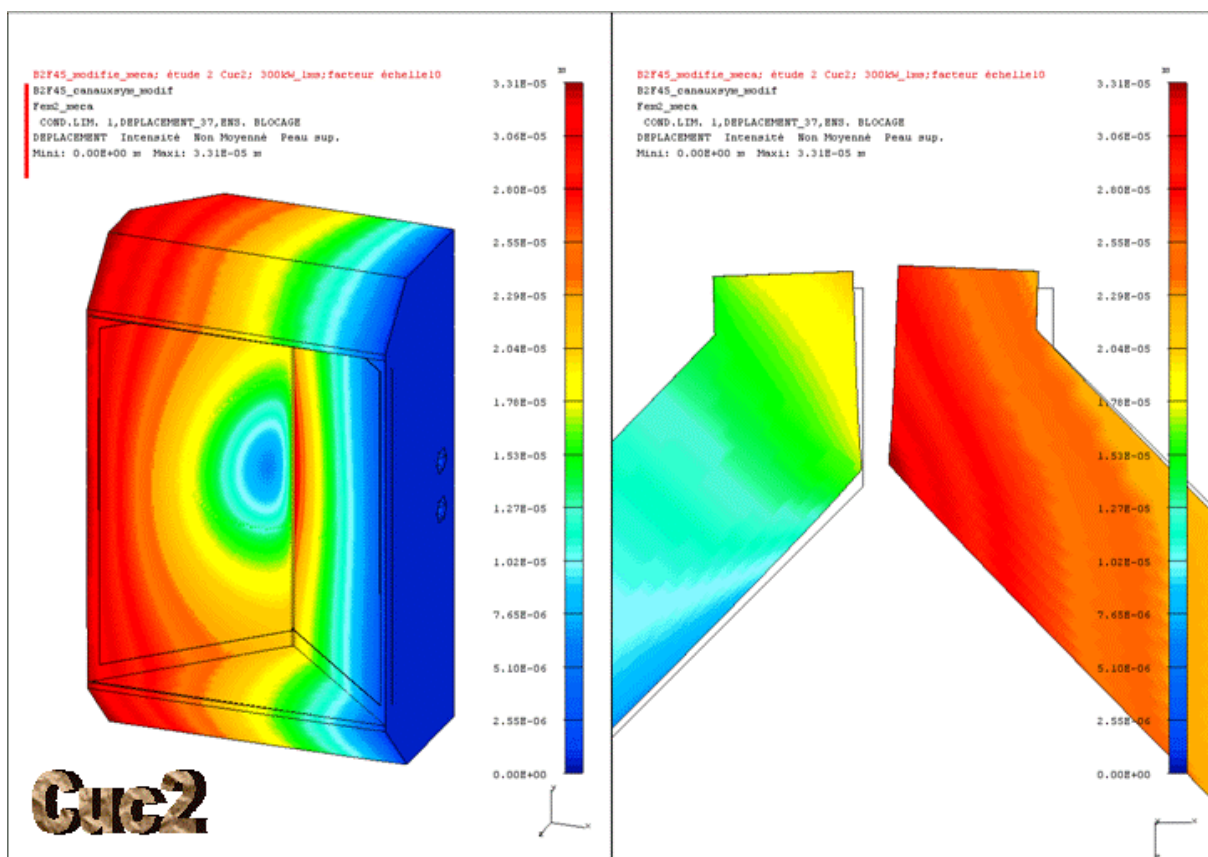


Figure 12. Déplacements Cuc2.

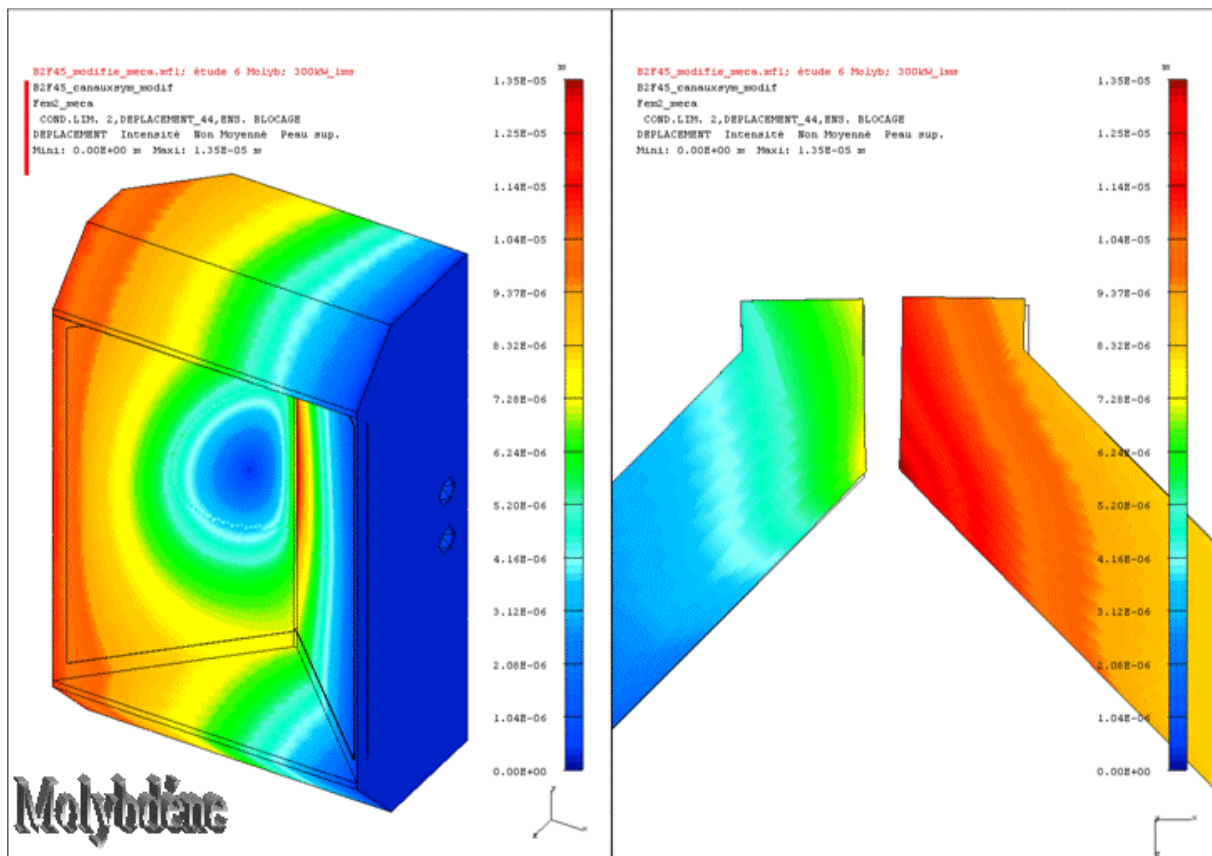


Figure 13.Déplacements Molybdène.

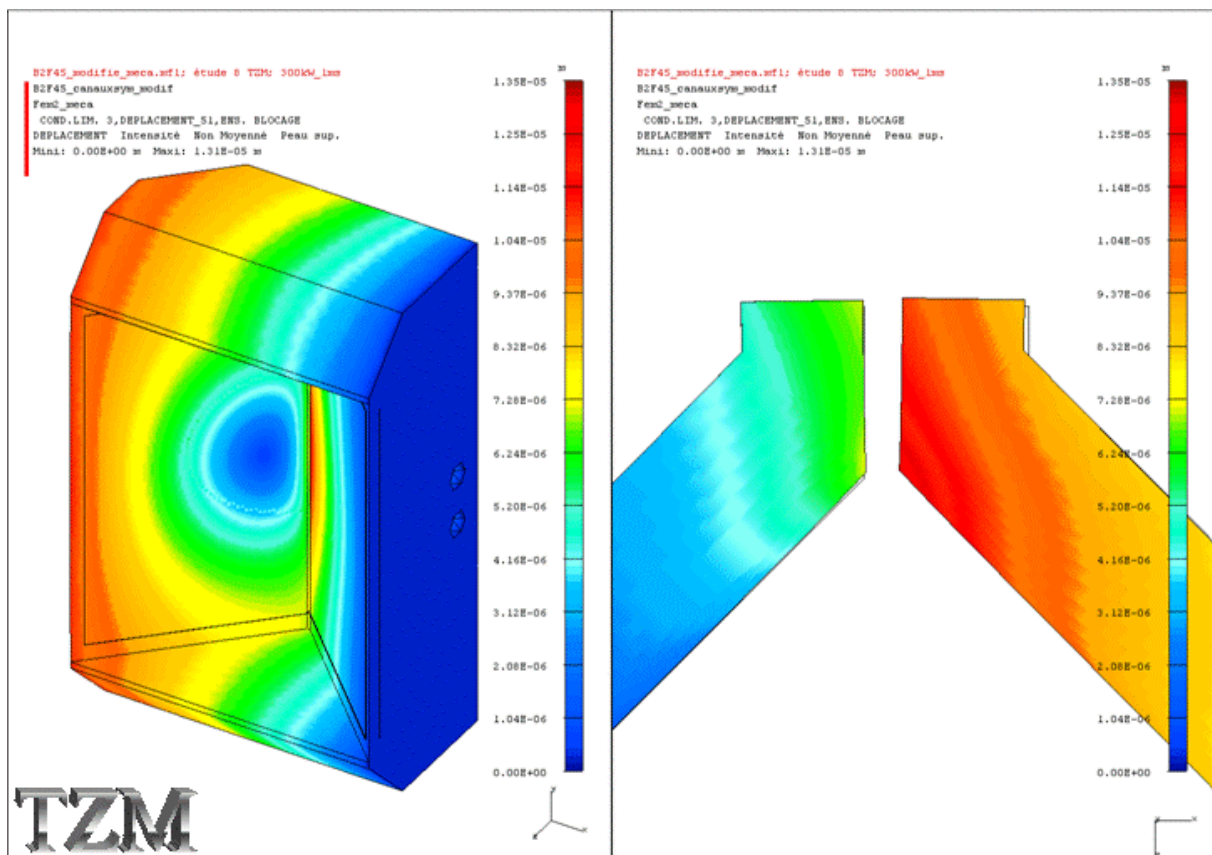


Figure 14.Déplacements TZM.

	Temp fusion °C	Temp Max °C @1ms	Déplac. Max µm	σ_y MPa @ 20°C	σ_y MPa @Tmax
Cuc2	1083	~400	33	60-120	-
Mo	2610	~740	13	330	~200
TZM	~2600	~760	13	750	~620

Tableau 1.

2.5 Conclusions.

Les déformations provoquées par l'élévation de température du bloc, irradié par un flux de 300kW pendant 1ms, restent faibles par rapport à la largeur de la fente, soit quelques dizaines de microns par rapport à 500µm.

Les températures maximales atteintes à la fin de la période de chauffage sont inférieures aux températures de fusion.

Les dommages qui apparaîtront lors du fonctionnement sont difficiles à évaluer du fait que les hautes températures et leurs contraintes induites sont localisées dans de faibles volumes. De plus les valeurs absolues de ces contraintes sont inexactes lorsqu'elles dépassent la valeur de limite élastique du matériau. Nous n'avons pas évalué dans cette étude le comportement en réponse au cycle thermique imposé.

Nonobstant les remarques précédentes, nous pouvons classer par ordre décroissant les matériaux candidats :

1. TZM
2. Mo
3. CuAl15
4. Cuc2

3 Références.

[1] Mesure de la dispersion en énergie : mise à jour des résultats. J.L Coacolo.

[2] I-DEAS, Société EDS Unigraphics Solutions France

[3] SRIM F.Ziegler, J.P. Biersack

[4] <http://aries.ucsd.edu/LIB/PROPS/PANOS/matintro.html> .

[5] Ligne d'analyse du projet IPHI. Jean Louis Coacolo

4 Annexe.

{1} Le parcours des Proton de 3MeV dans le Cu et dans le Mo est de l'ordre de 35 μ m [3].

{2} Les paramètres σ_x et σ_y de la fonction bi-gaussienne sont estimés à partir de calculs [5] de la distribution des particules dans l'espace des phases x-y, à la position z de la fente (Figure 15).

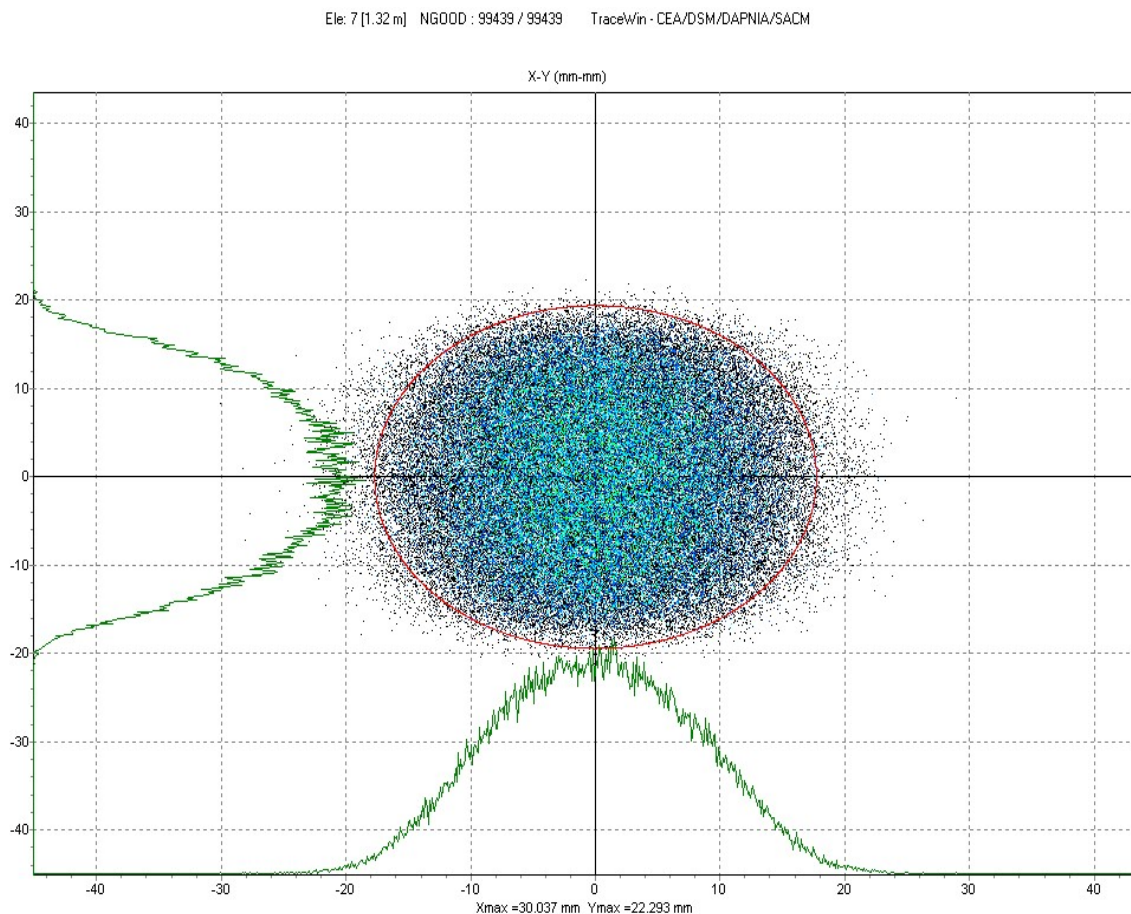


Figure 15